

*Секция 3 – Модифицирование поверхности и покрытия***ВЛИЯНИЕ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ***В.А.РЫБАКОВ, С.В.МАТРЕНИН*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: [var5@tpu.ru](mailto:var5@tpu.ru)

Разработка новых технологий модифицирования поверхности ведется активно как отечественными, так и зарубежными специалистами и является чрезвычайно актуальной задачей современности, поскольку неизбежно растут требования по условиям эксплуатации к материалам различного назначения. Более того, ужесточаются требования по экологической безопасности материалов и технологиям их производства.

В качестве объекта исследования выбраны покрытия, получаемые посредством технологии так называемого микродугового оксидирования (МДО) – формирования керамоподобного оксидного слоя на металлической подложке, являющейся основным поставщиком материала, в среде газового разряда в низкотемпературной плазме под действием электрического тока.

Покрытие выбрано декоративного типа [1]: черное МДО-покрытие толщиной 30 – 35 мкм для проведения исследований, поскольку покрытия малой толщины достаточно быстро (порядка 30 минут для деталей малого и среднего размера) набирают необходимую величину оксидного слоя, обладают хорошей стойкостью к абразивному износу (потеря массы не более 120 мг за 1000 циклов по методу Табера), коррозионной стойкостью (не менее 1000 часов в солевом тумане), а также высоко востребованы в современной промышленности (изготовление корпусов электротехнических, электронных устройств, измерительных и оптических приборов, в том числе высокоточных).

В качестве металла-основы выбран алюминий следующих сплавов: Д16, АМг2 и АД35, как наиболее распространенный в современной промышленности, а также как наиболее подходящий для формирования многофункционального нанокристаллического МДО-покрытия, содержащего корунд с высокой степенью адгезии к подложке за счет его родства по отношению к подложке.

Применены два типа предварительной обработки поверхности: травление, шлифование по отдельности.

Не выявлено зависимости между шероховатостью поверхности МДО-покрытия и металлической подложки перед оксидированием. Процесс, протекающий с активным переносом вещества на микромасштабном уровне самостоятельно управляет шероховатостью поверхности покрытия, однако очевидно, что при наличии дефектов мезо- или тем более макромасштабного уровня покрытие повторит их форму и текстуру.

Операции предварительного травления и шлифования привели к изменению стойкости покрытия к одиночным ударам и высокочастотным вибрациям по-разному.

При испытании одиночным ударом бойка в виде шара по покрытию проверялась адгезия покрытия к подложке. Любой удар с энергией  $E \geq 0.066$  Дж приводит к хорошо заметному невооруженным глазом отслоению покрытия на подложке из дюралюминия. Для сплава Д16 не было замечено сколь-нибудь заметного и практически применимого изменения в прочности связи покрытия с основой. Наблюдается повторяющееся отслоение покрытия на шлифованном перед МДО образце при меньшей энергии удара, однако разница в критической энергии, при которой покрытие начинает отслаиваться может быть связана с наличием отклонений в толщине покрытия, а следовательно с его физико-механическими свойствами, зависящими от соотношения более твердого  $\alpha$ -оксида алюминия и  $\gamma$ -оксида. С ростом толщины покрытия увеличивается доля  $\alpha$ -оксида – корунда, стабильной высокотемпературной модификации оксида алюминия. Несмотря на одинаковые условия покрытия образцов, толщина покрытия может отличаться на величину до 3 мкм.

Образцы сплавов АМг2 и АД35, травленные перед микродуговым оксидированием показали наличие влияния предварительной подготовки на адгезию при одиночных ударах в лучшую сторону. Не обнаружено сколько-нибудь значимой разницы между неподготовленными образцами свидетелями и шлифованными образцами всех сплавов.

Испытания на адгезию МДО-покрытия к подложке показали, что имеет смысл предварительное травление алюминия в растворах щелочей, в частности в растворе едкого натра, с целью улучшения адгезии при единичных ударах. Результаты могут быть экстраполированы на удары по касательной, поскольку покрытие обладает низким коэффициентом трения. Влияния предварительного шлифования на стойкость к одиночным ударам не обнаружено.

Испытания в ультразвуковой ванне показали наличие положительного эффекта от предварительного шлифования подложки на стойкость к высокочастотным вибрациям на всех сплавах. Испытания на адгезию МДО-покрытия к подложке показали, что имеет смысл предварительное травление алюминия в растворах щелочей, в частности в растворе едкого натра, с целью улучшения адгезии при единичных ударах. Результаты могут быть экстраполированы на удары по касательной, поскольку покрытие обладает низким коэффициентом трения. Шлифование поверхности образцов, вероятно, привело к активации поверхности, сделав ее более оптимальной средой для оксидирования.

Испытания в средах едкого натра и азотной кислоты низкой концентрации подтвердили неспособность покрытия самостоятельно сопротивляться агрессивным щелочным и кислым средам независимо от наличия предварительной подготовки. Это связано с пористой структурой покрытия: поры заполняются раствором по капиллярному принципу, после чего раствор достигает металлической подложки, несмотря на наличие плотного аморфного и практически безпористого барьерного слоя оксида алюминия. Начинается растравливание поверхности за счет взаимодействия алюминия или легирующих элементов с раствором той или иной среды. Несмотря на относительную стойкость алюминия к действию азотной кислоты, входящие в состав сплавов магний, марганец, медь, железо вытравливаются из общей композиции химических элементов, оставляя нерастворимый осадок в виде кремния, который не реагирует с азотной кислотой или едким натром.

Результаты проведенного исследования можно рассматривать в качестве технологических рекомендаций в производстве полифункциональных керамических покрытий.

#### **Список литературы**

1. ГОСТ Р 9.318 – 2013 Покрытия нанокристаллические неметаллические неорганические, полученные методом микродугового оксидирования на алюминии и его сплавах. – М.: Стандартинформ, 2013. – 35 с.